

## (12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2003年12月24日 (24.12.2003)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 03/107018 A1

(51) 国際特許分類: G01R 15/20

(21) 国際出願番号: PCT/JP03/07579

(22) 国際出願日: 2003年6月13日 (13.06.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願2002-177681 2002年6月18日 (18.06.2002) JP

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 旭化成株式会社 (ASAHI KASEI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒530-8205 大阪府 大阪市 北区堂島浜1丁目2番6号 Osaka (JP).

(72) 発明者: および  
(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 長野 修一

(52) 代理人: 森哲也, 外(MORI,Tetsuya et al.); 〒101-0032 東京都 千代田区 岩本町二丁目3番3号 友泉岩本町ビル 8階 日栄国際特許事務所 Tokyo (JP).

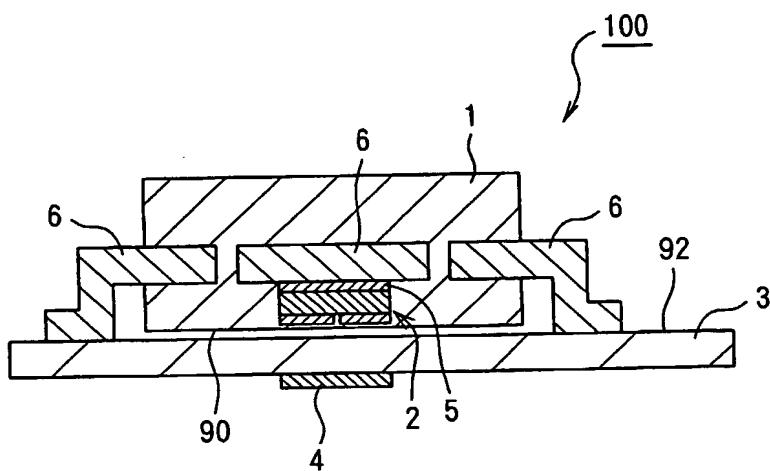
(81) 指定国(国内): CN, DE, JP, KR, US.

添付公開書類:  
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイドスノート」を参照。

## (54) Title: CURRENT MEASURING METHOD AND CURRENT MEASURING DEVICE

## (54) 発明の名称: 電流測定方法および電流測定装置



be ensured relatively easily.

(57) Abstract: A current measuring method capable of reducing the size of a current sensor while ensuring electric insulation easily and suitable for enhancing reliability by preventing heat generation. A current measuring device comprises a printed board (3) having a conductor (4) being measured, and a noncontact current sensor (100) being mounted on the printed board (3), wherein the current sensor (100) is mounted on the surface (92) of the printed board (3) opposite to the side provided with the conductor (4) being measured. Since the current sensor (100) is mounted on the rear surface (92), electric insulation between the secondary conductor of the current sensor (100) and the conductor (4) being measured can

WO 03/107018 A1

(57) 要約: 電気的絶縁の確保が容易であるとともに、電流センサの小型化を図ることができ、しかも発熱を防止して信頼性を向上するのに好適な電流測定方法を提供する。被測定導体4を有するプリント基板3と、プリント基板3面上に実装する非接触型の電流センサ100とを備え、電流センサ100を、プリント基板3の表面のうち被測定導体4が設けられている面とは反対側の面92に実装している。これにより、電流センサ100を裏面92に実装するので、従来に比して、電流センサ100の二次側導体と被測定導体4との間に電気的絶縁を比較的容易に確保することができる。

## 明 細 書

## 電流測定方法および電流測定装置

## 5 技術分野

本発明は、電流センサを基板に実装し、基板上の被測定導体を流れる電流を測定する方法および装置に係り、特に、電気的絶縁の確保が容易であるとともに、電流センサの小型化を図ることができ、しかも発熱を防止して信頼性を向上するのに好適な電流測定方法および電流測定装置に関する。

10

## 背景技術

従来、プリント基板上の電流を測定する技術としては、シャント抵抗、磁気抵抗素子またはホール素子を用いたものが広く知られている。

ホール素子を用いて電流を測定する技術としては、例えば、特開平8-233865号公報に開示されている電流検知ユニット（以下、第1の従来例という。）、特開平10-267965号公報に開示されている電流センサを用いた電流測定方法（以下、第2の従来例という。）、およびU.S.特許5942895号公報に開示されている電流センサを用いた電流測定方法（以下、第3の従来例という。）が知られている。

第1の従来例は、プリント基板と、プリント基板の一面側に凹部を形成し、他の一面側からはこの凹部に連通する孔を設け、一面側の孔上またはその孔中に配置した磁気センサと、プリント基板の上部に設けられるコイル部と、コイル部の上部に設けられ、磁気センサと対向する側に突起部を設けた第1の磁性体コアと、磁気センサと対向するよう凹部内に設けた第2の磁性体コアとで構成されている。電流検知ユニットのコイル部をプリント基板上の電流導体と直接接続することにより、電流検知効率が高く、表面実装可能な構造となっている。

第2の従来例は、被測定電流を流す導体、磁性体の薄片および磁電変換素子からなり、導体の中間部に扁平な凸部を設けその下部内側に被測定電流に対し垂直となるように磁電変換素子を固定し、かつ電流によって発生する磁界を磁電変換

素子に収束させるための磁性体の薄片から構成されている。電流センサの被測定導体とプリント基板上の電流導体を直列に接続して基板実装することによって外來ノイズを遮断し得る高効率の電流センサを実現できる。

これら従来例にも見るよう、電流センサ内に設けられている電流導体(以下、5 一次側電流導体という。)と、プリント基板上に設けられかつ測定対象となる電流導体(以下、被測定導体という。)とを直列に直接接続し、被測定導体を流れる電流を一次側電流導体に流すことにより、被測定導体を流れる電流を高精度に測定する方法が広く行われてきた。

また、シャント抵抗を用いた電流測定方法にあっても、シャント抵抗と被測定10 導体とを直列に直接接続し、被測定導体を流れる電流をシャント抵抗に流して電圧降下を生じさせ、その電位差を測定することにより、被測定導体を流れる電流を高精度に測定している。

さらに、最新の技術ではGMR等の高感度磁気センサを電流導線の上に、貼り付けて、非接触で電流を測定する方法が考案されてきている。

15 しかしながら、第1ないし第3の従来例にあっては、一次側電流導体と被測定導体とを直接接続する構成であるため、電流センサ内に設けられかつセンサ信号を出力するための信号線(以下、二次側電流導体という。)と被測定導体との間に電気的絶縁を十分に確保しなければならず、電流センサの実装に一定の制約があるという問題があった。電気的絶縁が十分でない場合は、例えば、電流センサ20 からのセンサ信号を利用する回路側にノイズや過大な入力が伝わる可能性がある。また、被測定導体を流れる電流が大きい場合は、それに合わせて一次側電流導体のサイズも大きくする必要があり、電流センサが大型になるという問題もあった。さらに、一次側電流導体と被測定導体とを直接接続すると、接続部分の接触抵抗に電流が流れることにより発熱し、その発熱量が大きければ、電流センサの信頼25 性を損なう可能性があるという問題もあった。

また、シャント抵抗を用いた電流測定方法にあっても同様に、センサ信号を出力するための信号線と被測定導体との間に電気的絶縁がとれず、実装に一定の制約があるという問題があった。また、被測定導体を流れる電流が大きい場合は、それに合わせてシャント抵抗のヒートシンクのサイズも大きくする必要があり、

電流センサが大型になるという問題もあった。さらに、シャント抵抗と被測定導体とを直接接続すると、抵抗に電流が流れることにより発熱し、その発熱量が大きければ、電流センサの信頼性を損なう可能性があるという問題もあった。さらに、シャント抵抗の場合、精密な抵抗値をもつことが必要であるため、選別しなければならないという問題もあった。

さらに、最新のGMR等を用いた高感度磁気センサによる非接触電流測定方法では、磁気センサとしてのヒステリシスが大きく、充分に精度を出せなかつたり、バイアスマグネットを利用する必要があるため、取り付け精度が厳しかつたり、実装場所が限定されたり、さらには電流の向きが検出できなかつたりといった問題があった。

そこで、本発明は、このような従来の技術の有する未解決の課題に着目してなされたものであって、電気的絶縁の確保が容易であるとともに、電流センサの小型化を図ることができ、しかも発熱を防止して信頼性を向上するのに好適な電流測定方法および電流測定装置を提供することを目的としている。

15

#### 発明の開示

上記目的を達成するために、本発明に係る請求の範囲第1項記載の電流測定方法は、被測定導体を有する基板に電流センサを実装し、前記電流センサにより前記被測定導体を流れる電流を測定する方法であって、前記電流センサを、前記基板面のうち前記被測定導体が設けられている面とは反対側の面に実装し、前記電流センサは、磁気を検出するホール素子と、磁束を所定方向に収束させる磁気収束手段とを備え、前記被測定導体を流れる電流により発生した磁束が前記ホール素子の感磁面に収束するように前記磁気収束手段を設けた。

ここで、電流を測定することには、被測定導体を流れる電流の大きさを得ること、電流の有無を検出すること、電流値が所定値を超えたかを検出することが含まれる。以下、請求の範囲第10項記載の電流測定装置において同じである。

さらに、本発明に係る請求の範囲第2項記載の電流測定方法は、請求の範囲第1項記載の電流測定方法において、前記電流センサを、前記基板面のうち前記被測定導体が設けられている面とは反対側の面でかつ前記基板を挟んで前記被測定

導体と対称となる位置に実装した。

さらに、本発明に係る請求の範囲第3項記載の電流測定方法は、請求の範囲第1および第2項のいずれかに記載の電流測定方法において、前記被測定導体の外装面のうち前記基板面と対向する面とは反対側の面に軟磁性体を設ける。

5 さらに、本発明に係る請求の範囲第4項記載の電流測定方法は、請求の範囲第1および第2項のいずれかに記載の電流測定方法において、前記電流センサの外装面のうち前記基板面と対向する面とは反対側の面に軟磁性体を設ける。

さらに、本発明に係る請求の範囲第5項記載の電流測定方法は、請求の範囲第1および第2項のいずれかに記載の電流測定方法において、前記電流センサと前記基板との間に、前記被測定導体を流れる電流の向きと平行となるように複数の軟磁性体を設ける。

さらに、本発明に係る請求の範囲第6項記載の電流測定方法は、請求の範囲第1ないし第5項のいずれかに記載の電流測定方法において、前記電流センサは、前記ホール素子および前記磁気収束手段を一体に内蔵し、前記ホール素子と前記15 対向面との間に前記磁気収束手段を設けた。

さらに、本発明に係る請求の範囲第7項記載の電流測定方法は、請求の範囲第6項記載の電流測定方法において、前記磁気収束手段は、複数の磁気収束板からなり、前記電流センサの実装時に前記磁気収束板の面が前記基板面と対向するように設けた。

20 さらに、本発明に係る請求の範囲第8項記載の電流測定方法は、請求の範囲第7項記載の電流測定方法において、前記電流センサの実装時に前記磁気収束板の面が前記基板面と対向するようにかつ前記基板の面方向からみて前記磁気収束板が前記被測定導体の中心線の両側に位置するように、前記複数の磁気収束板を、間隔をあけて設けた。

25 さらに、本発明に係る請求の範囲第9項記載の電流測定方法は、請求の範囲第1ないし第8項のいずれかに記載の電流測定方法において、前記被測定導体は、プリント配線であり、前記基板は、プリント基板である。

一方、上記目的を達成するために、本発明に係る請求の範囲第10項記載の電流測定装置は、被測定導体を有する基板と、前記基板面上に実装する電流センサ

とを備え、前記被測定導体を流れる電流を測定する装置であって、前記電流センサを、前記基板面のうち前記被測定導体が設けられている面とは反対側の面に実装し、前記電流センサは、磁気を検出するホール素子と、磁束を所定方向に収束させる磁気収束手段とを備え、前記被測定導体を流れる電流により発生した磁束が前記ホール素子の感磁面に収束するように前記磁気収束手段を設けた。

5 このような構成であれば、被測定導体に電流が流れると、被測定導体を流れる電流により磁気が発生し、発生した磁気が被測定導体に対して基板の反対面に到達し、電流センサにより、到達した磁気を受けて被測定導体を流れる電流が非接触で測定される。したがって、被測定導体に対して基板の反対面に電流センサを  
10 実装し、反対面から電流を測定することができる。

また、磁気収束手段により、被測定導体を流れる電流により発生した磁束がホール素子の感磁面に収束し、ホール素子により、収束した磁束が電圧に変換される。したがって、ホール素子からの出力電圧により、被測定導体を流れる電流を非接触で測定することができる。

15 さらに、本発明に係る請求の範囲第11項記載の電流測定装置は、請求の範囲第10項記載の電流測定装置において、前記電流センサを、前記基板面のうち前記被測定導体が設けられている面とは反対側の面でかつ前記基板を挟んで前記被測定導体と対称となる位置に実装した。

20 このような構成であれば、被測定導体を流れる電流により発生した磁気は、被測定導体に対して基板の反対面のうち、基板を挟んで前記被測定導体と対称となる位置に到達しやすいので、その位置に電流センサを設けることにより、被測定導体を流れる電流により発生した磁気を電流センサで検出しやすくなる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第12項記載の電流測定装置は、請求の範囲第10および第11項のいずれかに記載の電流測定装置において、前記被測定導体の外装面のうち前記基板面と対向する面とは反対側の面に軟磁性体を設けた。

25 このような構成であれば、被測定導体の外装面のうち基板面と対向する面とは反対側の面に軟磁性体が設けられているので、軟磁性体により、被測定導体を流れる電流により発生した磁束を電流センサの側に収束しやすくなる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第13項記載の電流測定装置は、請求の範囲

第10および第11項のいずれかに記載の電流測定装置において、前記電流センサの外装面のうち前記基板面と対向する面とは反対側の面に軟磁性体を設けた。

このような構成であれば、電流センサの外装面のうち基板面と対向する面とは反対側の面に軟磁性体が設けられているので、軟磁性体により、電流センサのそ  
5 の反対側の面に向かって到来する外部磁気が少なくとも遮蔽される。

さらに、本発明に係る請求の範囲第14項記載の電流測定装置は、請求の範囲第10および第11項のいずれかに記載の電流測定装置において、前記電流センサと前記基板との間に、前記被測定導体を流れる電流の向きと平行となるように複数の軟磁性体を設けた。

10 このような構成であれば、電流センサと基板との間に複数の軟磁性体が設けられているので、複数の軟磁性体により、被測定導体を流れる電流により発生した磁束を電流センサの側に収束しやすくなる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第15項記載の電流測定装置は、請求の範囲第10および第11項のいずれかに記載の電流測定装置において、前記電流センサは、前記ホール素子および前記磁気収束手段を一体に内蔵し、前記ホール素子と前記対向面との間に前記磁気収束手段を設けた。

15 このような構成であれば、ホール素子と対向面との間に磁気収束手段が設けられているので、被測定導体を流れる電流により発生した磁束を磁気収束手段で受けやすくなる。そのため、被測定導体を流れる電流により発生した磁束を効果的にホール素子の感磁面に収束させることができる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第16項記載の電流測定装置は、請求の範囲第15項記載の電流測定装置において、前記磁気収束手段は、複数の磁気収束板からなり、前記電流センサの実装時に前記磁気収束板の面が前記基板面と対向するように設けた。

20 このような構成であれば、磁気収束板の面が基板面と対向するように磁気収束板が設けられているので、被測定導体を流れる電流により発生した磁束を磁気収束板で受けやすくなる。そのため、被測定導体を流れる電流により発生した磁束を効果的にホール素子の感磁面に収束させることができる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第17項記載の電流測定装置は、請求の範囲

第16項記載の電流測定装置において、前記電流センサの実装時に前記磁気収束板の面が前記基板面と対向するようにかつ前記基板の面方向からみて前記磁気収束板が前記被測定導体の中心線の両側に位置するように、前記複数の磁気収束板を、間隔をあけて設けた。

5 このような構成であれば、基板の面方向からみて磁気収束板が被測定導体の中心線の両側に位置するように磁気収束板が間隔をあけて設けられているので、磁気収束板で受けた磁束を効果的にホール素子の感磁面に収束させることができる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第18項記載の電流測定装置は、請求の範囲第10ないし第17項のいずれかに記載の電流測定装置において、前記基板は、  
10 複数の前記被測定導体を有し、前記各被測定導体との距離が所定関係となる位置に前記電流センサを実装した。

このような構成であれば、各被測定導体との距離が所定関係となる位置に電流センサが実装されているので、各被測定導体を流れる電流により発生した磁気を電流センサで受けた場合、電流センサの出力値および所定関係に基づいて各被測定導体を流れる電流を測定することができる。各電流の測定は、例えば、演算等により行うことができる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第19項記載の電流測定装置は、請求の範囲第10ないし第18項のいずれかに記載の電流測定装置において、前記被測定導体は、プリント配線であり、前記基板は、プリント基板である。

20 さらに、本発明に係る請求の範囲第20項記載の電流測定装置は、請求の範囲第10ないし第19項のいずれかに記載の電流測定装置において、前記ホール素子の感磁部は、Si、GaAs、InAsまたはInSbからなる。

#### 図面の簡単な説明

25 図1は、電流センサ100の厚さ方向の断面図である。図2は、電流センサ100の厚さ方向の断面図である。図3は、図2中のA-A'線に沿った断面図である。図4は、電流センサ100をプリント基板3上に実装した場合を示す斜視図である。図5は、電流センサ100と被測定導体4との距離を変化させたときに電流センサ100のセンサ感度が変化する様子を示したグラフである。図6は、

被測定導体4の長さを変化させたときに電流センサ100のセンサ感度が変化する様子を示したグラフである。

図7は、被測定導体4の基板の面方向からみたときの中心位置を基準として電流センサ100の実装位置を被測定導体4の幅方向に変化させたときに電流センサ100のセンサ感度が変化する様子を示したグラフである。図8は、幅2[mm]の被測定導体4を使用したときの電流センサ100の実装位置と感度の関係を示した図である。図9は、幅15[mm]の被測定導体4を使用したときの電流センサ100の実装位置と感度の関係を示した図である。図10は、被測定導体4の基板の面方向からみたときの中心位置を基準として電流センサ100の実装位置を被測定導体4の長さ方向に変化させたときに電流センサ100のセンサ感度が変化する様子を示したグラフである。

図11は、電流センサ100の実装位置を被測定導体4の幅方向(X座標)および厚さ方向(Y座標)に変化させたときに電流センサ100のセンサ感度が変化する様子を示したグラフである。図12は、被測定導体4の電流密度を変化させたときに電流センサ100のセンサ感度が変化する様子を示したグラフである。図13は、電流センサ100の厚さ方向の断面図である。図14は、電流センサ100の厚さ方向の断面図である。図15は、電流センサ100の厚さ方向の断面図である。

図16は、電流センサ100の厚さ方向の断面図である。図17は、電流センサ100をプリント基板3の裏面に実装した場合を示す斜視図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の第1の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図1～図12は、本発明に係る電流測定方法および電流測定装置の第1の実施の形態を示す図である。

まず、本発明に係る電流測定装置の構造を図1ないし図3を参照しながら説明する。図1および図2は、電流センサ100の厚さ方向の断面図である。図3は、図2中のA-A'線に沿った断面図である。

本発明に係る電流測定装置は、図1および図2に示すように、被測定導体4を

有するプリント基板3と、プリント基板3の面上に実装する電流センサ100とを備え、電流センサ100を、プリント基板3の表面のうち被測定導体4が設けられている面とは反対側の面92（以下、単に裏面という。）に実装している。

電流センサ100は、図1に示すように、磁気収束板付きホールASIC2をモールドパッケージ1に内蔵して構成されている。モールドパッケージ1の内部には、モールドパッケージ1の外装面のうち実装時にプリント基板3と対向することとなる面90（以下、単に対向面という。）側に磁気収束板付きホールASIC2が設けられている。

また、モールドパッケージ1には、磁気収束板付きホールASIC2をダイボンドするためのリードフレーム6が設けられている。リードフレーム6の端部は、プリント基板3に実装できるように曲げてある。また、モールドパッケージ1内に設けられたリードフレーム6には、磁気収束板付きホールASIC2が接着用ペースト5により接着されている。

磁気収束板付きホールASIC2は、図2および図3に示すように、信号処理回路10の外装面のうち実装時にプリント基板3と対向することとなる面に2つのホール素子9を設けるとともに、信号処理回路10と対向面90との間に2つの磁気収束板11を設けてなる。ここで、ホール素子9は、2つ1組のペアであれば、2組以上設けても構わない。磁気収束板11は、実装時に磁気収束板11の面がプリント基板3の面と対向するようにかつプリント基板3の面方向からみて磁気収束板11が被測定導体4のセンサ実装面への射影の中心線の両側に位置する最適位置にするか、少なくとも被測定導体4のセンサ実装面への射影に近接するように所定の間隔をあけて設ける。磁気収束板11の間隔をあけることにより、被測定導体4を流れる電流により発生した磁束は、両側の磁気収束板11により、ホール素子9の感磁面に向けて収束される。なお、磁気収束板付きホールASIC2の構造については、第3の従来例に詳しい。

プリント基板3は、紙フェノール、紙エポキシまたはガラスエポキシ等の材質で構成されている。もちろん、これらに限定されるものではないが、ポリイミド系材料であれば、プリント基板3の厚さを小さくできてよい。なお、プリント基板3の厚さは、いかなる大きさであってもよいが、厚さが小さければ小さいほど

センサ感度を上げることができるので、極力小さい方が好ましい。ただし、絶縁性と実装位置の自由度を得るために、必要最小限の厚みは必要とされる。

被測定導体4は、例えば、Cu等の金属箔からなる電流導線であり、被測定導体4を流れる電流値、要求される電流感度に応じて最適な形状とすることが可能。電流値が大きければ、被測定導体4の厚みを増し、電流感度を向上する場合は、被測定導体4の幅を小さくする。被測定導体4の長さは、センサ感度をほぼ一定にするためには、所定の長さ以上あればよい。なお、被測定導体4の幅とは、プリント基板3の面方向に沿った長さであって被測定導体4を流れる電流の向きと直交する長さをいい、被測定導体4の長さとは、プリント基板3の面方向に沿った長さであって被測定導体4を流れる電流の向きの長さをいい、被測定導体4の厚さとは、プリント基板3の面方向と直交する方向に沿った長さをいう。以下、同じである。

図4は、電流センサ100をプリント基板3上に実装した場合を示す斜視図である。

電流センサ100は、図4に示すように、裏面92でかつプリント基板3を挟んで被測定導体4と反対側の位置に実装する。この場合、被測定導体4を流れる電流が作る磁場の様子は、図2における符号12、13および図4における符号13に示すようになる。ホール素子9の下方には、磁気収束板11が所定の間隔をもって、ホール素子9に平行になるように配置されているので、被測定導体4を図面裏側から図面表側に向けて電流が流れているとき、電流により発生する磁界は、図2および図4における符号13に示すようになり、特に、ホール素子9近傍の磁界は、磁気収束板11により符号12に示すように収束される。これにより、ホール素子9の感磁面の磁束密度を大きくすることができる。

信号処理回路10は、ホール素子9により磁電変換して得られるホール起電力を加算增幅する。なお、ホール素子9と信号処理回路10とは、必ずしも、磁気収束板付きホールASIC2としてモノリシックに構成されている必要はなく、ハイブリッドに構成されていても構わない。また、ホール素子9の感磁部の材質として、Si以外にInSb、InAs、GaAs等のIII-V族系の高感度化合物半導体を利用すれば、さらに電流感度を向上させることができる。

このように、電流センサ100は、磁気収束板付きホールASIC2およびリードフレーム6をモールド樹脂で一体加工したものであり、汎用的なプロセスで大量生産に適した構造になっている。

なお、本実施の形態では、リードフレーム6を用いているが、リードフレーム5 6を使用しなくとも、ホール素子9の感磁面が絶縁層を介して被測定導体4に近接または接触できれば、フリップチップとし、フリップチップボンディングタイプのものとして構成しても構わない。また、この場合、図1のようにフェイスダウン構造でなくともよく、磁気収束板、ホール素子、基板、電流導体の順番であっても構わない。この場合、モールド樹脂で一体加工する必要はない。さらに、10 電流センサ100は上記形態以外にもプリント基板3面に平行な磁界を本願実施例と同程度以上の性能で検出できるものであれば使用できる。

#### [実施例]

次に、本発明に係る実施例を図5ないし図12を参照しながら説明する。

プリント基板3の厚さを1.6 [mm]とし、厚さ35 [ $\mu\text{m}$ ]および幅15 [mm]の銅15 箔からなる被測定導体4をプリント基板3上に形成し、電流センサ100を、裏面92でかつプリント基板3を挟んで被測定導体4と対称となる位置に実装した。この実装により、電流センサ100と被測定導体4との間に電気的絶縁を十分に確保することができる。

電流センサ100には、一般に広く利用されているTSSOP-16パッケージをモールドパッケージ1として使用した。モールドパッケージ1の厚さは、およそ1 [mm]で、底面からおよそ300 [ $\mu\text{m}$ ]の位置にホール素子9を配置する構造とし、被測定導体4に極力近接するように配置した。ホール素子9の表面には、軟磁性材料からなる複数の磁気収束板11を配置し、対向面90に平行な磁気をホール素子9に収束させる機能を持たせている。ホール素子9より得られたセンサ信号をモールドパッケージ1内に内臓した信号処理回路10で演算増幅することによって、最終的な電流センサ100単体での磁気感度を160 [mV/mT]にできる電流センサ100を利用した。信号処理回路10の増幅率または電流センサ100内部の磁気回路の変更によっては、1600 [mV/mT]までの磁気感度を実現できたが、本発明では、標準の電流センサとして、160 [mV/mT]の磁気感度を持つものを使用

した。

図5は、電流センサ100と被測定導体4との距離を変化させたときに電流センサ100のセンサ感度が変化する様子を示したグラフである。ただし、被測定導体4の厚みを35[μm]とし、横軸の距離は、被測定導体4と電流センサ感磁部の距離である。図5は、被測定導体4の幅Wを、2[mm]、4[mm]、6[mm]、10[mm]、15[mm]、20[mm]、25[mm]、40[mm]、50[mm]および60[mm]とした場合についてセンサ感度の変化を調べたものである。図5のグラフによれば、電流センサ100と被測定導体4との距離が小さくなるほど、および被測定導体4の幅Wが小さくなるほど、センサ感度が向上していることが分かる。したがって、センサ感度を向上する観点からは、電流センサ100と被測定導体4との距離を小さくし、被測定導体4の幅Wを小さくすることが好ましい。一方、被測定導体4の幅を広くすると距離が変化しても感度の変化が少なくなり、距離の変化に対して均一な感度が得られるというメリットがある。

図6は、被測定導体4の長さを変化させたときに電流センサ100のセンサ感度が変化する様子を示したグラフである。ただし、被測定導体4の厚みを35[μm]とし、プリント基板3の厚みを1.6[mm]とした。また、センサ感度は、基板の面方向からみたとき、被測定導体4の中心位置に電流センサ100を配置したときの値である。図6は、被測定導体4の幅Wを、2[mm]、4[mm]、6[mm]、10[mm]、15[mm]、20[mm]、25[mm]、40[mm]、50[mm]および60[mm]とした場合についてセンサ感度の変化を調べたものである。図6のグラフによれば、被測定導体4の長さが大きくなるほど、および被測定導体4の幅Wが小さくなるほど、センサ感度が向上していることが分かる。ただし、被測定導体4の長さについては、いずれの幅Wにおいても被測定導体4の長さが10[mm]より大きくなるとセンサ感度の変化はほぼない。したがって、センサ感度を向上する観点からは、被測定導体4の長さを10[mm]より大きくし、被測定導体4の幅Wを小さくすることが好ましい。

図7は、被測定導体4の基板の面方向からみたときの中心位置を基準として電流センサ100の実装位置を被測定導体4の幅方向に変化させたときに電流センサ100のセンサ感度が変化する様子を示したグラフである。ただし、被測定導

体4の厚みを35[ $\mu\text{m}$ ]とし、プリント基板3の厚みを1.6[mm]とした。図7は、被測定導体4の幅Wを、2[mm]、4[mm]、6[mm]、10[mm]、15[mm]、20[mm]、25[mm]、40[mm]、50[mm]および60[mm]とした場合についてセンサ感度の変化を調べたものである。図7のグラフによれば、電流センサ100の実装位置5が被測定導体4の幅方向の中心位置に近づくほど、および被測定導体4の幅Wが小さくなるほど、センサ感度が向上していることが分かる。ただし、電流センサ100の実装位置については、被測定導体4の幅Wの1/2、すなわち、被測定導体4を幅方向にみてその両端付近までのずれであれば、要求される測定精度によってはセンサ感度の低下を許容することができる。これは、電流センサ100を必ずしも被測定導体4の真下に配置することではなく、被測定導体4を幅方向にみてその両端付近までは自由に実装位置を決められることを意味し、実装の自由度が向上することがわかる。したがって、センサ感度を向上する観点からは、電流センサ100の実装位置を被測定導体4の幅方向の中心位置に近づけ、被測定導体4の幅Wを小さくすることが好ましい。

一方、図7に示すように、プリント基板3上の被測定導体4が生成する磁界は、被測定導体4の幅が広くなればなるほど均一性が高くなり、本発明の高精度な電流センサ100を利用することで、横(X)方向の位置ずれに対して感度の変化が極めて少ない。特に数[A]以上の電流を流すような場合、被測定導体4の幅が数[mm]以上になるが、この場合横方向に1[mm]以上ずれても大きな感度変化は認められなくなるため、電流センサ100実装時の位置ずれを気にする必要はなくなる。結論としては、精度上求められる電流感度が決まつたら、必要以上に被測定導体4の幅を狭くせず、広めに設計する方が電流センサ実装位置の自由度が増える。

図8は、幅2[mm]の被測定導体4を使用したときの電流センサ100の実装位置と感度の関係を示した図である。図9は、幅15[mm]の被測定導体4を使用したときの電流センサ100の実装位置と感度の関係を示した図である。ただし、図8および図9の双方とも、被測定導体4の厚みを35[ $\mu\text{m}$ ]とし、プリント基板3の厚みを1.6[mm]とした。変位はとともに、基板の面方向からみたときの被測定導体4の中心位置から被測定導体横方向の変位である。

さらに、図7からいえることは、電流センサ100と被測定導体4のずれが「0」のとき、最も電流感度が高くなるが、図8および図9に示すように、ある程度、位置ずれがあっても被測定導体4の幅程度の位置ずれでは感度の変化率は被測定導体4と同一面に実装する表面実装の場合と比較しても緩やかな変化となる。被測定導体4の幅の半分程度の位置ずれを起こしても位置ずれなしの最大電流感度のおよそ50%以上を維持することができる。また、被測定導体4の幅程度の位置ずれの場合、感度の低下は大きいものの、その近傍での位置ずれに対する変化が小さいことが分かる。このことから意図的に電流センサ100を被測定導体4の端部近傍あるいは端部から離して実装する（被測定導体4の幅方向に位置を移動し実装する）ことで充分な精度で電流を測定することができる。このことは、被測定導体4の実装面とは逆の面に実装したことによって、被測定導体4に対し電流センサ100を配置する自由度が高くできることを意味しており、回路基板の設計者に対して設計の自由度を大きく広げることにつながる。プリント基板3を隔て、自らの実装面とは逆面上の被測定導体4中の電流を非接触で測定するようにしたことで、絶縁性を確保しつつ、プリント基板3面に平行な磁場成分の均一性が向上し、かつ電流センサ100がプリント基板3面に平行な均一磁界を精度よく測定できるものであるため、実装位置の自由度を大きく向上させることができる。

図10は、被測定導体4の基板の面方向からみたときの中心位置を基準として電流センサ100の実装位置を被測定導体4の長さ方向に変化させたときに電流センサ100のセンサ感度が変化する様子を示したグラフである。ただし、被測定導体4の厚みを35[μm]とし、プリント基板3の厚みを1.6[mm]とし、被測定導体4の長さを20[mm]とした。図10は、被測定導体4の幅Wを、2[mm]、4[mm]、6[mm]、10[mm]、15[mm]、20[mm]、25[mm]、40[mm]、50[mm]および60[mm]とした場合についてセンサ感度の変化を調べたものである。図10のグラフによれば、電流センサ100の実装位置が被測定導体4の長さ方向の中心位置に近づくほど、および被測定導体4の幅Wが小さくなるほど、センサ感度が向上していることが分かる。したがって、センサ感度を向上する観点からは、電流センサ100の実装位置を被測定導体4の長さ方向の中心位置に近づけ、被

測定導体4の幅Wを小さくすることが好ましい。

図11は、電流センサ100の実装位置を被測定導体4の幅方向(X座標)および厚さ方向(Y座標)に変化させたときに電流センサ100のセンサ感度が変化する様子を示したグラフである。ただし、厚み1.6[mm]のプリント基板3に5 電流センサ100を実装した状態がy座標=0[mm]に対応し、y軸方向が、被測定導体4とプリント基板3の距離が大きくなる方向を示している。センサ感度が最大になるx座標が、被測定導体4の中心位置に相当する。図11のグラフをX軸方向、Y軸方向からみた図が図5と図7である。

また、図5のグラフを参照すると、被測定導体4がプリント基板3の厚さに対して十分広い場合、電流センサ100とプリント基板3の距離が多少ずれてもセンサ感度の変化率は少なく、被測定導体幅W=15[mm]のときで約1.3[%]/0.1[mm]であった。また、図7のグラフを参照すると、被測定導体4の電流の流れに対して90°になる横方向に電流センサ100が位置ずれした場合もセンサ感度の変化は、被測定導体幅W=15[mm]のときで約0.3[%]/1[mm]で15 あった。電流の量を測定するのに必要な被測定導体4の長さは20[mm]以上あっても、それ以上の長さについてはセンサ感度への影響はほとんどない。そのため、被測定導体4の長さとしては、図6のグラフを参照すると、20[mm]程度確保できれば十分である。

本実施例による電流測定方法では、被測定導体4の形状と相対位置により、センサ感度が決まるが、15[mm]幅の被測定導体4を電流センサ100で測定したときのセンサ感度は、5.6[mV/A]であった。一般の電流スイッチとしては、十分に機能できるほか、高感度の電流センサ100を使用すればセンサ感度をおよそ10倍にも向上させることができ、制御用にも十分使用できる。

図12は、被測定導体4の電流密度を変化させたときに電流センサ100のセンサ感度が変化する様子を示したグラフである。ただし、図12の結果は、プリント基板3の厚さを1.6[mm]とし、被測定導体4に流す電流値を一定( $I = 5, 10, 30, 60[A]$ )にした場合である。

センサ感度を向上させるためには、図5ないし図10の結果が示す通り、被測定導体4の幅Wをできるだけ小さくしたいが、一般的に35[μm]厚の銅箔板から

なる被測定導体4は、幅1[mm]あたりに流せる電流値として最大1[A]を基準に設計されている。これは、発熱による問題を考慮したためである。すなわち、電流量によっては、むやみに被測定導体4の幅を小さくすることができない。被測定導体4の幅Wを小さくする場合は、発熱の問題を回避するために被測定導体4の5 厚さを大きくする必要がある。図12の結果が示すように、測定電流範囲によらず、電流密度を15[A/mm]より大きくしてもセンサ感度はさほど大きくならない。最大 $I_{max}$ [A]の電流を流すようにしたとき、15[A/mm]の電流密度になるようにするには、被測定導体4の幅を $I_{max}/15$ [mm]とする必要がある。

したがって、最大電流値を60[A]とすると、被測定導体4の幅Wは、およそ410 [mm]にすればよいが、被測定導体4の厚さを35[ $\mu$ m]から15倍以上にする必要がある。被測定導体4の厚さをおよそ500[ $\mu$ m]～1[mm]とすれば、60[A]程度の電流を良好なセンサ感度で測定するためには、被測定導体4の幅Wを4～5[mm]とすればよい。被測定導体4の幅Wがこのような範囲にあれば、センサ感度が向上するため、被測定導体4を流れる電流をより高精度に測定することができる。15

また、電流センサ100を使用した場合、15[mV/A]のセンサ感度を得るためにには、被測定導体4を流れる電流として15[A/mm]の電流密度が必要である。最大 $I_{max}$ [A]の電流を流すようにしたとき、15[A/mm]の電流密度になるようにするには、被測定導体4の幅を $I_{max}/15$ [mm]とする必要がある。ただし、被測定導体4の厚さは、最低でも35[ $\mu$ m]×15以上にする必要がある。厚さもできるだけ小さい方がセンサ感度の低下が少なくなるので、0.5[mm]以上でかつ1[mm]以下の厚さが好ましい。したがって、数十[A]の電流を考えた場合、最大電流を $I_{max}$ [A]とすると、被測定導体4の形状は、幅 $I_{max}/15$ [mm]以下、長さ10[mm]以上、厚さ1.0[mm]以下とするのが適当である。

25 このようにして、本実施の形態では、被測定導体4を有するプリント基板3と、プリント基板3面上に実装する非接触型の電流センサ100とを備え、電流センサ100を裏面92に実装した。

これにより、電流センサ100を裏面92に実装するので、従来に比して、電流センサ100の二次側導体と被測定導体4との間に電気的絶縁を比較的容易に

確保することができる。また、被測定導体4を流れる電流を非接触で測定することにより、被測定導体4を流れる電流が大きくなても電流センサ100のサイズを大きくしなくて済むので、電流センサ100の小型化を図ることができる。さらに、被測定導体4を流れる電流を非接触で測定することにより、被測定導体5 4との接触抵抗による発熱がないため、従来に比して、電流センサ100の信頼性を損なう可能性を低減することができる。

被測定導体4を一体に内蔵するような従来型の電流センサでは、高精度に電流を測定するためには、一次導体と磁気センサの間に位置ずれが発生しないように一次導体と磁気センサを一体成型したり、組立した後にキャリブレーションを行ったりする必要があった。特にバイアスマグネットを使用する必要のある磁気センサを利用するものでは、電流を正確に測定するためには、バイアスマグネット、一次導体、磁気センサ等の構成部品の位置精度を充分に確保し、バイアスマグネットの特性や磁気センサ感度のばらつき等の影響でさらに校正をする必要があった。また、被測定導体4を内蔵しないような電流センサを使用するような場合は、プリント基板3の被測定導体4のある面と同一面に電流センサを実装する場合、被測定導体4の幅が大きくなると電流センサのパッケージサイズやパッケージ種類（SOP、QFP、QFN、BGA等）の問題でパターン上に実装できなかつたり、電流感度が実装位置により大きく変化したりするため、実装場所を選ぶ必要があった。

20 本発明に係る電流測定方法および電流測定装置は、これらの問題に対して極めて有効であることを見出してなし得たものである。裏面実装は、パッケージサイズやパッケージ種類による位置の制約がない上に、広いエリアで緩やかに変化し、比較的均一な電流感度が得られるのに加え、電流センサの実装基板面に平行な磁界をヒステリシス等なく精度よく検出する電流センサを使用することによって、25 電流感度の校正なしでも充分な精度を実現できるようになった。このことにより、実装位置に関する自由度が広くなり、電流センサの使用者は、プリント基板3上に回路を設計する際の自由度が大きくなつたといえる。

さらに、本実施の形態では、電流センサ100を、裏面92でかつプリント基板3を挟んで被測定導体4と対称となる位置に実装した。

これにより、電流センサ100を、裏面92でかつプリント基板3を挟んで被測定導体4と対称となる位置に実装するので、被測定導体4を流れる電流により発生した磁気を電流センサ100で検出しやすくなり、被測定導体4に対してプリント基板3の反対面から電流センサ100を実装してもセンサ感度を損なう可能性を低減することができる。

さらに、本実施の形態では、電流センサ100は、磁気を検出するホール素子9と、磁束を所定方向に収束させる磁気収束板11とを備え、電流センサ100の外装面のうち実装時にプリント基板3面と対向することとなる面側にホール素子9を設け、被測定導体4を流れる電流により発生した磁束がホール素子9の感磁面に収束するように磁気収束板11を設けた。

これにより、被測定導体4を流れる電流により発生した磁束がホール素子9の感磁面に収束しやすくなるので、被測定導体4に対してプリント基板3の反対面から電流センサ100を実装してもセンサ感度を損なう可能性を低減することができる。また、電流センサ100を通常のLSIプロセスと同様の技術で製造でき、非接触で被測定導体4の電流を測定することができるので、小型化を図ることができるとともに、被測定導体4と電流センサ100との電気的絶縁を保つつ、電流の向きを含めて比較的高精度に被測定導体4の電流を測定することができる。さらに、ホール素子9および磁気収束板11を通常のLSIプロセスと同様の技術で製造できるので、生産効率を高くすることができる。さらに、一次側導体を同一パッケージに内蔵しないため、プリント基板3の導線パターンに間隔を設け、そこに直列に実装する必要もなく比較的小型にすることができる。さらに、導線パターン上部から間接的に電流を測定できるため、設計後に部品の取り外しを行っても、導線パターンの修正変更が必要にならず、実装を取りやめることが比較的容易である。

さらに、本実施の形態では、電流センサ100は、ホール素子9および磁気収束板11を一体に内蔵し、ホール素子9と対向面90との間に磁気収束板11を設けた。

これにより、被測定導体4を流れる電流により発生した磁束を効果的にホール素子9の感磁面に収束させることができるので、被測定導体4に対してプリント

基板 3 の反対面から電流センサ 100 を実装してもセンサ感度を損なう可能性をさらに低減することができる。

さらに、本実施の形態では、電流センサ 100 の実装時に磁気収束板 11 の面がプリント基板 3 面と対向するようにかつプリント基板 3 の面方向からみて磁気 5 収束板 11 が被測定導体 4 の中心線の両側に位置するように、複数の磁気収束板 11 を、間隔をあけて設けた。

これにより、被測定導体 4 を流れる電流により発生した磁束をさらに効果的にホール素子 9 の感磁面に収束させることができるので、被測定導体 4 に対してプリント基板 3 の反対面から電流センサ 100 を実装してもセンサ感度を損なう可 10 能性をさらに低減することができる。

上記第 1 の実施の形態において、磁気収束板 11 は、請求の範囲第 1、第 6、第 7、第 10、第 15 または第 16 項記載の磁気収束手段に対応している。

次に、本発明の第 2 の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図 13 は、本発明に係る電流測定方法および電流測定装置の第 2 の実施の形態を示す図である。以下、上記第 1 の実施の形態と異なる部分についてのみ説明をし、重複する部分については同一の符号を付して説明を省略する。

まず、本発明に係る電流測定装置の構造を図 13 を参照しながら説明する。図 13 は、電流センサ 100 の厚さ方向の断面図である。

本発明に係る電流測定装置は、図 13 に示すように、被測定導体 4 を有するプリント基板 3 と、裏面 92 でかつプリント基板 3 を挟んで被測定導体 4 と反対側の位置に実装した電流センサ 100 とを備え、被測定導体 4 の外装面のうちプリント基板 3 と対向する面とは反対側の面に薄板形状の軟磁性材料 20 を設けた。軟磁性材料 20 としては残留磁気が少なければ少ないとよい。

このような構成であれば、軟磁性材料 20 により、被測定導体 4 を流れる電流 25 により発生した磁界のうち、被測定導体 4 からみて電流センサ 100 の反対側に放射するものを電流センサ 100 の側に収束しやすくなる。また、軟磁性材料 20 は、被測定導体 4 の作る磁界以外の外乱磁界の影響を低減する効果がある。

このようにして、本実施の形態では、被測定導体 4 の外装面のうちプリント基板 3 と対向する面とは反対側の面に軟磁性材料 20 を設けた。

これにより、軟磁性材料20によって、被測定導体4を流れる電流により発生した磁束を電流センサ100の側に効果的に収束することができるので、被測定導体4に対してプリント基板3の反対面から電流センサ100を実装してもセンサ感度を向上させかつ外乱磁気を低減することができる。

5 次に、本発明の第3の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図14は、本発明に係る電流測定方法および電流測定装置の第3の実施の形態を示す図である。以下、上記第1の実施の形態と異なる部分についてのみ説明をし、重複する部分については同一の符号を付して説明を省略する。

まず、本発明に係る電流測定装置の構造を図14を参照しながら説明する。図10 14は、電流センサ100の厚さ方向の断面図である。

本発明に係る電流測定装置は、図14に示すように、被測定導体4を有するプリント基板3と、裏面92でかつプリント基板3を挟んで被測定導体4と反対側の位置に実装した電流センサ100とを備え、被測定導体4の外装面のうちプリント基板3と対向する面とは反対側の面に薄板形状の軟磁性材料20を設けるとともに、電流センサ100の外装面のうちプリント基板3と対向する面とは反対側の面に薄板形状の軟磁性材料22を設けた。軟磁性材料20, 22としては残留磁気が少なければ少ない物ほどよい。

このような構成であれば、軟磁性材料22により、電流センサ100の外装面のうちプリント基板3と対向する面とは反対側の面に向かって到来する外部磁気が少なくとも遮蔽される。また、軟磁性材料20により、被測定導体4を流れる電流により発生した磁束のうち、被測定導体4からみて電流センサ100の反対側に放射するものを電流センサ100の側に収束しやすくなる。

次に、本発明に係る第1の実施例を説明する。

外乱磁気の影響を低減する手法として、図14に示すように、モールドパッケージ1の表面に軟磁性材料22を装着した。磁気シールドすることによって、外乱磁気を軟磁性材料22の面方向に収束させ、ホール素子9に対する外乱磁気の影響を低減できるようにするようにした。使用した軟磁性材料22は、サイズが $4 \times 4 \times 0.15$  [mm]で、材質が78.7 [%] Ni permalloyである。その結果、最も問題になるのは、モールドパッケージ1上部からの外乱磁気の影響であるが、

モールドパッケージ1から5[cm]上の電流導体が与える影響を調べたところ、軟磁性材料22を設けない場合に比して、外乱磁気の影響を1/3に低減することができた。また、モールドパッケージ1から8[cm]上の電流導体が与える影響を調べたところ、軟磁性材料22を設けない場合に比して、外乱磁気の影響を1/5に低減することができた。

次に、本発明に係る第2の実施例を説明する。

上記第1の実施例における電流測定方法は、磁気シールドすることによって、外乱磁気の影響を低減することができるが、軟磁性材料22の実装によって、本来測定すべき被測定導体4に対するセンサ感度そのものも低下させてしまう。軟磁性材料22をホール素子9から約1[mm]以上離隔すれば、センサ感度の低下も抑えられるが、小型化するためTSSOP-16パッケージを使用したので、ホール素子9と軟磁性材料22との距離が約0.7[mm]となり、上記第1の実施例では、センサ感度の低下は、軟磁性材料22を設けない場合に比しておよそ50[%]ダウンであった。

そのため、センサ感度を改善させることを検討した。被測定導体4を流れる電流により発生する磁気をうまく収束させることによって、センサ感度を向上させるため、被測定導体4に軟磁性材料22を近接させ、電流センサ100に磁気を効率よく収束できる配置になるように、サイズが10×7×0.4[mm]で、材質が78.7[%]Ni permalloyの軟磁性材料20を被測定導体4の上に接着剤で貼付けた。軟磁性材料20の配置は、上記第2の実施の形態と同じ要領で行うことができる。軟磁性材料20を設けた場合、初期センサ感度に比較して、センサ感度を約50[%]向上させることができた。また、軟磁性材料20のサイズを20×20×1[mm]とするとセンサ感度が80[%]向上した。軟磁性材料22を装備した状態でも、50[%]ダウンであったセンサ感度が10[%]～20[%]ダウンに改善された。

このようにして、本実施の形態では、電流センサ100の外装面のうちプリント基板3と対向する面とは反対側の面に軟磁性材料22を設けた。

これにより、軟磁性材料22により、電流センサ100の外装面のうちプリント基板3と対向する面とは反対側の面に向かって到来する外部磁気が少なくとも

遮蔽されるので、従来に比して、外部磁気に対する耐性を向上することができる。

さらに、本実施の形態では、被測定導体4の外装面のうちプリント基板3と対向する面とは反対側の面に軟磁性材料20を設けた。

これにより、軟磁性材料20によって、被測定導体4を流れる電流により発生した磁束を電流センサ100の側に効果的に収束することができる、被測定導体4に対してプリント基板3の反対面から電流センサ100を実装してもセンサ感度を損なう可能性を低減することができる。

次に、本発明の第4の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図15は、本発明に係る電流測定方法および電流測定装置の第4の実施の形態を示す図である。以下、上記第1の実施の形態と異なる部分についてのみ説明をし、重複する部分については同一の符号を付して説明を省略する。

まず、本発明に係る電流測定装置の構造を図15を参照しながら説明する。図15は、電流センサ100の厚さ方向の断面図である。

本発明に係る電流測定装置は、図15に示すように、被測定導体4を有するプリント基板3と、裏面92でかつプリント基板3を挟んで被測定導体4と反対側の位置に実装した電流センサ100とを備え、電流センサ100とプリント基板3との間に、被測定導体4を流れる電流の向きと平行となるように複数の軟磁性材料24を設けた。軟磁性材料24としては残留磁気が少なければ少ない物ほどよい。

このような構成であれば、複数の軟磁性材料24により、被測定導体4を流れる電流により発生した磁束を電流センサ100の側に収束しやすくなる。

次に、本発明に係る実施例を説明する。

センサ感度をさらに増加させるため、電流センサ100とプリント基板3の間に、図15に示すように軟磁性材料24を装着するようにした。使用した軟磁性材料22は、サイズが $4 \times 4 \times 0.15$  [mm]で、材質が78.7[%] Ni permalloyであり、これを2枚使用した。2枚の間のギャップを2 [mm]とし、幅5 [mm]のモールドパッケージ1の下に接着した。その結果、初期センサ感度を約40[%]向上させることができた。

この状態にさらに、被測定導体4側に $20 \times 20 \times 1$  [mm]のNi permalloyを実

装するとセンサ感度は約210[%]まで向上できた。

このようにして、本実施の形態では、電流センサ100とプリント基板3との間に、被測定導体4を流れる電流の向きと平行となるように複数の軟磁性材料24を設けた。

5 これにより、軟磁性材料24によって、被測定導体4を流れる電流により発生した磁束を電流センサ100の側に効果的に収束することができるので、被測定導体4に対してプリント基板3の反対面から電流センサ100を実装してもセンサ感度を損なう可能性を低減することができる。

次に、本発明の第5の実施の形態を図面を参照しながら説明する。図16は、  
10 本発明に係る電流測定方法および電流測定装置の第5の実施の形態を示す図である。以下、上記第1の実施の形態と異なる部分についてのみ説明をし、重複する部分については同一の符号を付して説明を省略する。

まず、本発明に係る電流測定装置の構造を図16を参照しながら説明する。図16は、電流センサ100の厚さ方向の断面図である。

15 本発明に係る電流測定装置は、図16に示すように、複数の被測定導体4を有するプリント基板3と、裏面92でかつプリント基板3を挟んで被測定導体4と反対側の位置に実装した電流センサ100とを備える。ここで、電流センサ100は、各被測定導体4との距離が所定関係となる位置に実装する。

プリント基板3は、絶縁層、配線層、絶縁層および配線層をその順に積層して  
20 なる4層構造をとり、各配線層には、被測定導体4が平行に形成されている。

なお、電流センサ100には、図示しないが、電流センサ100からのセンサ信号に基づいて各被測定導体4を流れる電流をそれぞれ測定する演算回路が接続されている。演算回路は、電流センサ100からのセンサ信号を入力し、入力したセンサ信号、および電流センサ100と各被測定導体4との位置関係に基づいて、各被測定導体4を流れる電流値を演算により算出するようになっている。

このような構成であれば、各被測定導体4との距離が所定関係となる位置に電流センサ100が実装されているので、各被測定導体4を流れる電流により発生した磁気を電流センサ100で受けた場合、演算回路により、電流センサ100からのセンサ信号、および電流センサ100と各被測定導体4との位置関係に基

づいて、各被測定導体4を流れる電流値を演算により算出することができる。

次に、本発明に係る実施例を説明する。

上記第1ないし第4の実施の形態における電流測定方法は、被測定導体4を流れる電流が生成する微弱な磁場を変換して電流を測定するため、被測定導体4に5 流れる電流のほか、10 [cm]四方の比較的広い空間に広がる電流も測定可能となる。これに着目し、1つの電流センサ100により複数の被測定導体4を流れる電流をそれぞれ測定する検討を行った。

図16に示すように、内層が35 [ $\mu\text{m}$ ]および外層が175 [ $\mu\text{m}$ ]で総板厚3.2 [mm]の4層のプリント基板3中に、異なる電流を流す幅15 [mm]の被測定導体10 4を2つ平行になるように形成し、上記第1の実施例と同様の電流センサ100を裏面92に実装した。このとき、電流センサ100は、各被測定導体4との距離が所定関係となる位置に実装する。ホール素子9までの距離は、一方の被測定導体4についてはおよそ1 [mm]であり、他方の被測定導体4についてはおよそ3.2 [mm]である。このとき、各被測定導体4が電流センサ100に与えるセンサ感15 度は、それぞれ50.4 [mV/A]と43.2 [mV/A]であった。

一方の被測定導体4には、周波数が50 [Hz]および振幅が10 [A]の交流電流を流し、他方の被測定導体4には、周波数が1 [Hz]および振幅が10 [A]の矩形波の電流を流した。すると、電流センサ100からは、期待通り理論値に極めて近い出力を取り出すことができた。センサ信号をアナログ信号処理またはデジタル信号処理することによって、2つの信号を分離することが可能なので、電流センサ100により双方の被測定導体4を流れる電流をそれぞれ測定することができる。

このようにして、本実施の形態では、プリント基板3は、複数の被測定導体4を有し、各被測定導体4との距離が所定関係となる位置に電流センサ100を実装した。

これにより、各被測定導体4との距離が所定関係となる位置に電流センサ100が実装されているので、各被測定導体4を流れる電流により発生した磁気を電流センサ100で受けた場合、演算回路により、電流センサ100からのセンサ信号、および電流センサ100と各被測定導体4との位置関係に基づいて、各被測定導体4を流れる電流値を演算により算出することができる。

なお、上記第5の実施の形態においては、プリント基板3の厚さ方向に2つの被測定導体4が形成されている場合に、電流センサ100を、裏面92でかつプリント基板3を挟んで被測定導体4と反対側の位置に実装したが、これに限らず、図17に示すように、プリント基板3の面方向に複数の被測定導体4が形成されている場合に、電流センサ100を、裏面92でかつ被測定導体4の近傍に位置するように実装してもよい。

図17は、電流センサ100をプリント基板3の裏面に実装した場合を示す斜視図である。

## 10 産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明に係る請求の範囲第1ないし第9項記載の電流測定方法、または請求の範囲第10ないし第20項記載の電流測定装置によれば、電流センサを、基板面のうち被測定導体が設けられている面とは反対側の面に実装するので、従来に比して、電流センサの二次側導体と被測定導体との間に電気的絶縁を比較的容易に確保することができるという効果が得られる。また、被測定導体を流れる電流を非接触で測定することにより、被測定導体を流れる電流が大きくなても電流センサのサイズを大きくしなくて済むので、電流センサの小型化を図ることができるという効果も得られる。さらに、被測定導体を流れる電流を非接触で測定することにより、被測定導体との接触抵抗による発熱がないため、従来に比して、電流センサの信頼性を損なう可能性を低減することができるという効果も得られる。さらに、電流センサを、基板面のうち被測定導体が設けられている面とは反対側の面に実装するので、被測定導体を流れる電流により発生した均一な磁気を電流センサで検出できる。さらに、磁気収束手段により、被測定導体を流れる電流により発生した磁束がホール素子の感磁面に収束しやすくなるので、被測定導体に対して基板の反対面から電流センサを実装するとセンサ感度を向上させることができるという効果も得られる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第2項記載の電流測定方法、または請求の範囲第11項記載の電流測定装置によれば、電流センサを、基板面のうち被測定導体が設けられている面とは反対側の面でかつ基板を挟んで被測定導体と対称とな

る位置に実装するので、被測定導体を流れる電流により発生した磁気を電流センサでさらに検出しやすくなり、被測定導体に対して基板の反対面から電流センサを実装してもセンサ感度を損なう可能性をさらに低減することができるという効果も得られる。

5 さらに、本発明に係る請求の範囲第3項記載の電流測定方法、または請求の範囲第12項記載の電流測定装置によれば、被測定導体の外装面のうち基板面と対向する面とは反対側の面に設けた軟磁性体によって、被測定導体を流れる電流により発生した磁束を電流センサの側に効果的に収束することができるので、被測定導体に対して基板の反対面から電流センサを実装してもセンサ感度を損なう可能性を低減することができるという効果も得られる。

10 さらに、本発明に係る請求の範囲第4項記載の電流測定方法、または請求の範囲第13項記載の電流測定装置によれば、電流センサの外装面のうち基板面と対向する面とは反対側の面に設けた軟磁性体により、電流センサのその反対側の面に向かって到来する外部磁気が少なくとも遮蔽されるので、従来に比して、外部15 磁気に対する耐性を向上することができるという効果も得られる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第5項記載の電流測定方法、または請求の範囲第14項記載の電流測定装置によれば、電流センサと基板との間に設けた複数の軟磁性体によって、被測定導体を流れる電流により発生した磁束を電流センサの側に効果的に収束することができるので、被測定導体に対して基板の反対面から電流センサを実装してもセンサ感度を損なう可能性を低減することができるという効果も得られる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第6ないし第8項記載の電流測定方法、または請求の範囲第15ないし第17項記載の電流測定装置によれば、被測定導体を流れる電流により発生した磁束を効果的にホール素子の感磁面に収束させることができるので、被測定導体に対して基板の反対面から電流センサを実装してもセンサ感度を損なう可能性をさらに低減することができるという効果も得られる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第7若しくは第8項記載の電流測定方法、または請求の範囲第16若しくは第17項記載の電流測定装置によれば、被測定導体を流れる電流により発生した磁束をさらに効果的にホール素子の感磁面に収束

させることができるので、被測定導体に対して基板の反対面から電流センサを実装してもセンサ感度を損なう可能性をさらに低減することができるという効果も得られる。

一方、本発明に係る請求の範囲第10ないし第20項記載の電流測定装置によれば、磁気収束手段により、被測定導体を流れる電流により発生した磁束がホール素子の感磁面に収束しやすくなるので、被測定導体に対して基板の反対面から電流センサを実装してもセンサ感度を損なう可能性を低減することができるという効果も得られる。また、電流センサを通常のLSIプロセスと同様の技術で製造でき、非接触で被測定導体の電流を測定することができるので、小型化を図ることができるとともに、被測定導体と電流センサとの電気的絶縁を保つつ、発熱を抑え、電流の向きを含めて比較的高精度に被測定導体の電流を測定することができるという効果も得られる。さらに、ホール素子および磁気収束手段を通常のLSIプロセスと同様の技術で製造できるので、生産効率を高くすることができるという効果も得られる。さらに、一次側導体を同一パッケージに内蔵しないため、基板の導線パターンに間隔を設け、そこに直列に実装する必要もなく比較的小型にすることができるという効果も得られる。さらに、導線パターン上部から間接的に電流を測定できるため、設計後に部品の取り外しを行っても、導線パターンの修正変更が必要にならず、実装を取りやめることができ比較的容易であるという効果も得られる。

さらに、本発明に係る請求の範囲第18項記載の電流測定装置によれば、各被測定導体との距離が所定関係となる位置に電流センサが実装されているので、各被測定導体を流れる電流により発生した磁気を電流センサで受けた場合、電流センサの出力値および所定関係に基づいて各被測定導体を流れる電流を測定することができるという効果も得られる。

## 請 求 の 範 囲

1. 被測定導体を有する基板に電流センサを実装し、前記電流センサにより前記被測定導体を流れる電流を測定する方法であって、  
前記電流センサを、前記基板面のうち前記被測定導体が設けられている面とは  
5 反対側の面に実装し、  
前記電流センサは、  
磁気を検出するホール素子と、磁束を所定方向に収束させる磁気収束手段とを  
備え、  
前記被測定導体を流れる電流により発生した磁束が前記ホール素子の感磁面に  
10 収束するように前記磁気収束手段を設けたことを特徴とする電流測定方法。
2. 請求の範囲第1項において、  
前記電流センサを、前記基板面のうち前記被測定導体が設けられている面とは  
反対側の面で且つ前記基板を挟んで前記被測定導体と対称となる位置に実装した  
ことを特徴とする電流測定方法。
- 15 3. 請求の範囲第1及び第2項のいずれかにおいて、  
前記被測定導体の外装面のうち前記基板面と対向する面とは反対側の面に軟磁  
性体を設けることを特徴とする電流測定方法。
4. 請求の範囲第1及び第2項のいずれかにおいて、  
前記電流センサの外装面のうち前記基板面と対向する面とは反対側の面に軟磁  
20 性体を設けることを特徴とする電流測定方法。
5. 請求の範囲第1及び第2項のいずれかにおいて、  
前記電流センサと前記基板との間に、前記被測定導体を流れる電流の向きと平  
行となるように複数の軟磁性体を設けることを特徴とする電流測定方法。
6. 請求の範囲第1乃至第5項のいずれかにおいて、  
25 前記電流センサは、  
前記ホール素子及び前記磁気収束手段を一体に内蔵し、  
前記ホール素子と前記対向面との間に前記磁気収束手段を設けたことを特徴と  
する電流測定方法。

## 7. 請求の範囲第6項において、

前記磁気収束手段は、複数の磁気収束板からなり、前記電流センサの実装時に前記磁気収束板の面が前記基板面と対向するように設けたことを特徴とする電流測定方法。

## 5 8. 請求の範囲第7項において、

前記電流センサの実装時に前記磁気収束板の面が前記基板面と対向するように且つ前記基板の面方向からみて前記磁気収束板が前記被測定導体の中心線の両側に位置するように、前記複数の磁気収束板を、間隔をあけて設けたことを特徴とする電流測定方法。

## 10 9. 請求の範囲第1乃至第8項のいずれかにおいて、

前記被測定導体は、プリント配線であり、前記基板は、プリント基板であることを特徴とする電流測定方法。

10. 被測定導体を有する基板と、前記基板面上に実装する電流センサとを備え、前記被測定導体を流れる電流を測定する装置であって、

15 前記電流センサを、前記基板面のうち前記被測定導体が設けられている面とは反対側の面に実装し、

前記電流センサは、

磁気を検出するホール素子と、磁束を所定方向に収束させる磁気収束手段とを備え、

20 前記被測定導体を流れる電流により発生した磁束が前記ホール素子の感磁面に収束するように前記磁気収束手段を設けたことを特徴とする電流測定装置。

## 11. 請求の範囲第10項において、

前記電流センサを、前記基板面のうち前記被測定導体が設けられている面とは反対側の面で且つ前記基板を挟んで前記被測定導体と対称となる位置に実装したことを特徴とする電流測定装置。

## 12. 請求の範囲第10及び第11項のいずれかにおいて、

前記被測定導体の外装面のうち前記基板面と対向する面とは反対側の面に軟磁性体を設けたことを特徴とする電流測定装置。

## 13. 請求の範囲第10及び第11項のいずれかにおいて、

前記電流センサの外装面のうち前記基板面と対向する面とは反対側の面に軟磁性体を設けたことを特徴とする電流測定装置。

14. 請求の範囲第10及び第11項のいずれかにおいて、

前記電流センサと前記基板との間に、前記被測定導体を流れる電流の向きと平行となるように複数の軟磁性体を設けたことを特徴とする電流測定装置。

15. 請求の範囲第10及び第11項のいずれかにおいて、

前記電流センサは、

前記ホール素子及び前記磁気収束手段を一体に内蔵し、

前記ホール素子と前記対向面との間に前記磁気収束手段を設けたことを特徴とする電流測定装置。

16. 請求の範囲第15項において、

前記磁気収束手段は、複数の磁気収束板からなり、前記電流センサの実装時に前記磁気収束板の面が前記基板面と対向するように設けたことを特徴とする電流測定装置。

17. 請求の範囲第16項において、

前記電流センサの実装時に前記磁気収束板の面が前記基板面と対向するように且つ前記基板の面方向からみて前記磁気収束板が前記被測定導体の中心線の両側に位置するように、前記複数の磁気収束板を、間隔をあけて設けたことを特徴とする電流測定装置。

18. 請求の範囲第10乃至第17項のいずれかにおいて、

前記基板は、複数の前記被測定導体を有し、

前記各被測定導体との距離が所定関係となる位置に前記電流センサを実装したことを特徴とする電流測定装置。

19. 請求の範囲第10乃至第18項のいずれかにおいて、

前記被測定導体は、プリント配線であり、前記基板は、プリント基板であることを特徴とする電流測定装置。

20. 請求の範囲第10乃至第19項のいずれかにおいて、

前記ホール素子の感磁部は、Si、GaAs、InAs又はInSbからなることを特徴とする電流測定装置。

図 1

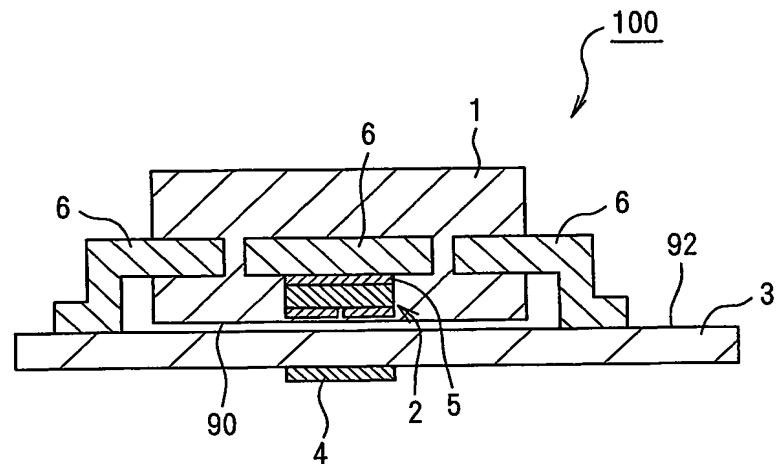


図 2

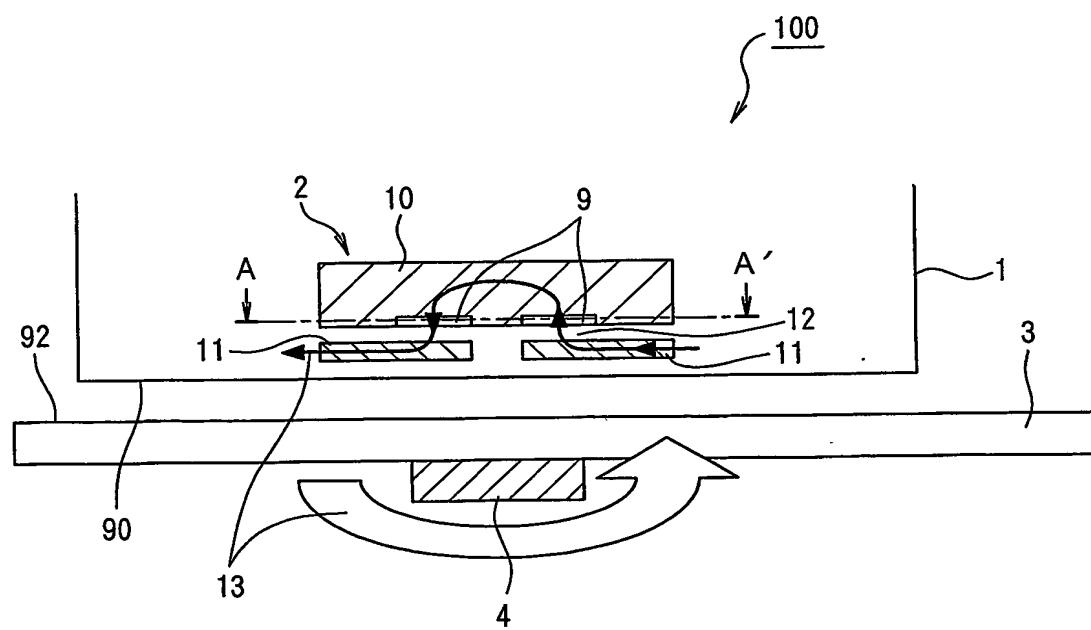


図 3

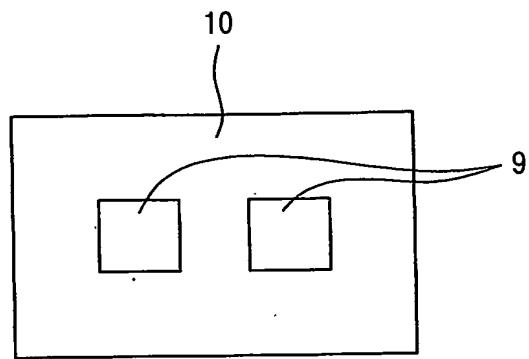


図 4

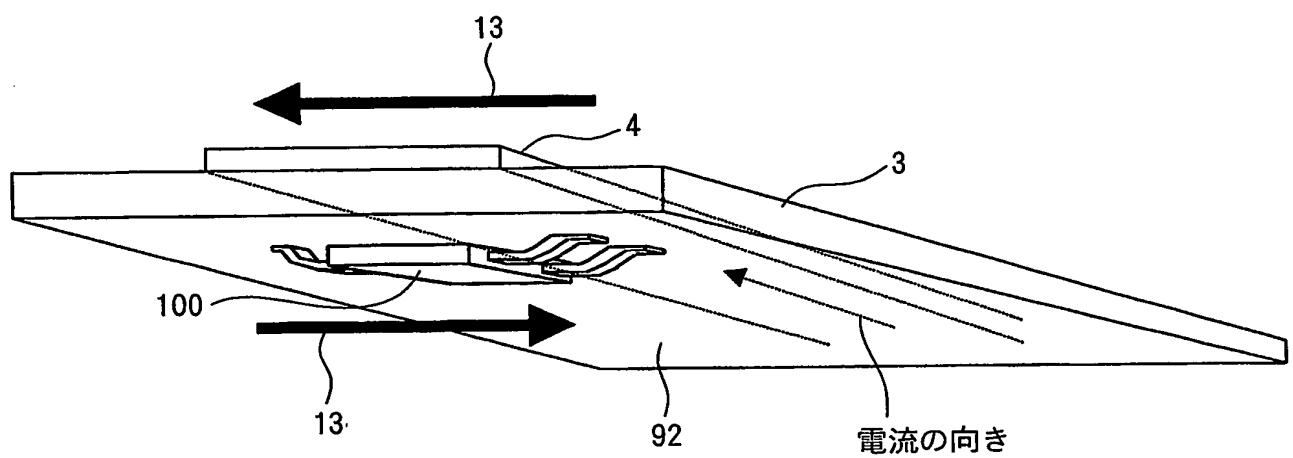


図 5

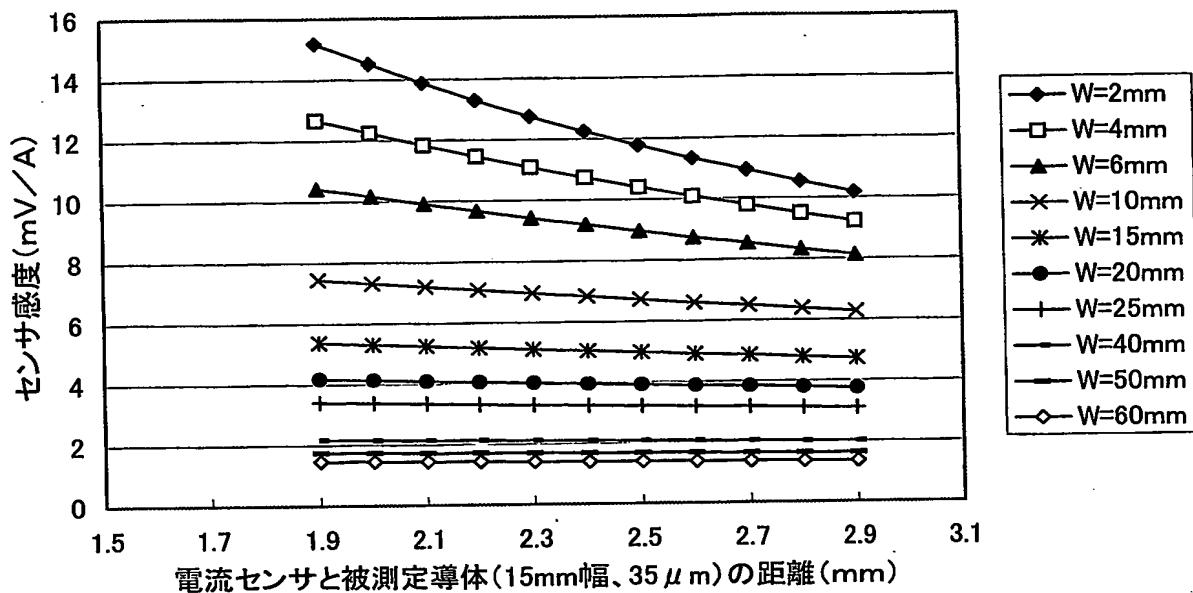


図 6

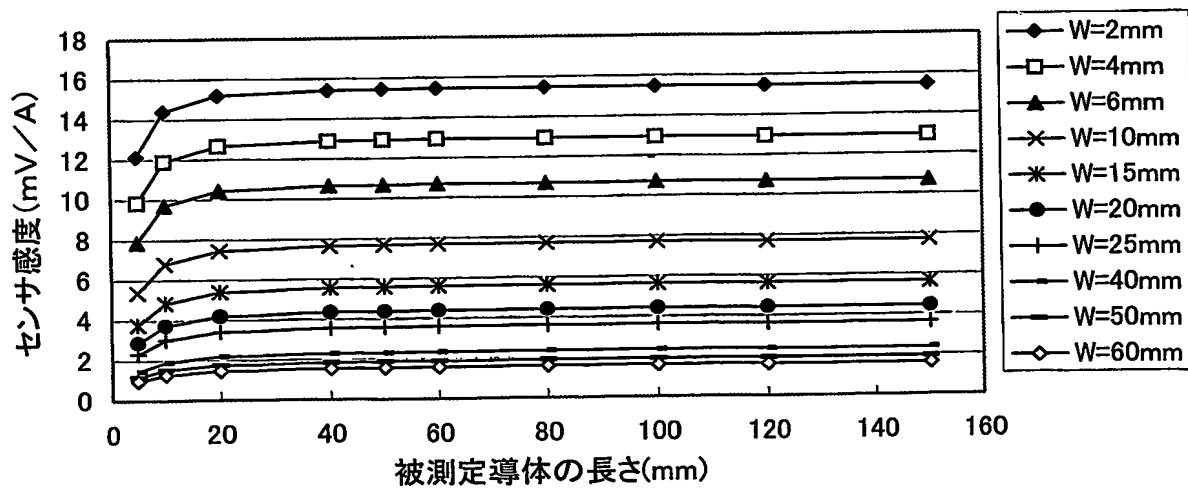


図 7

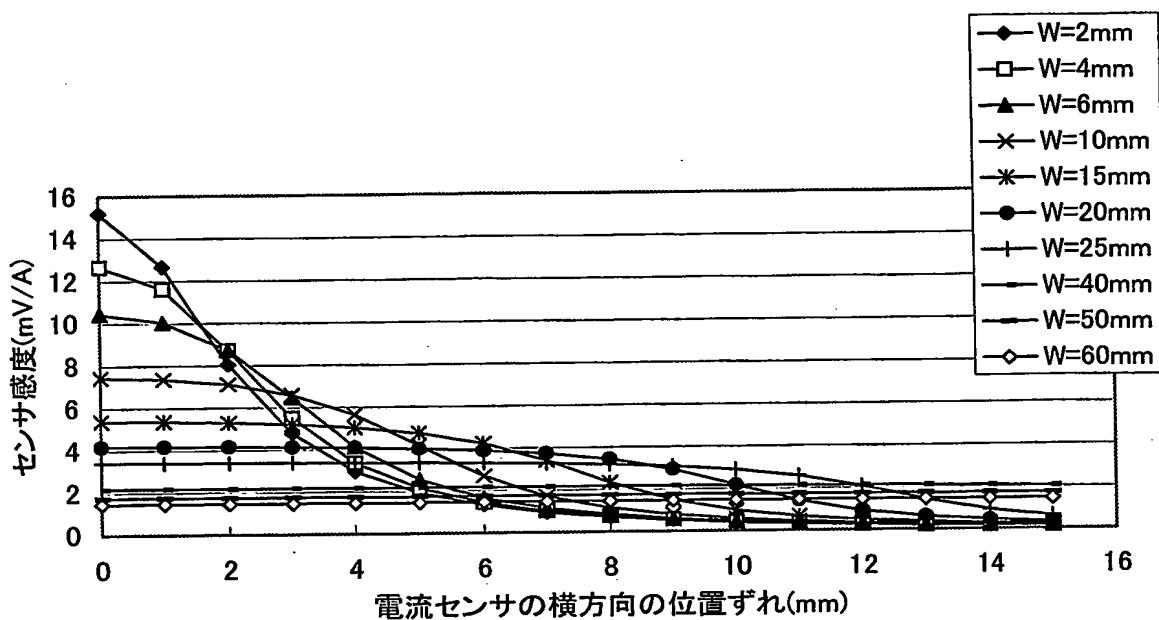


図 8

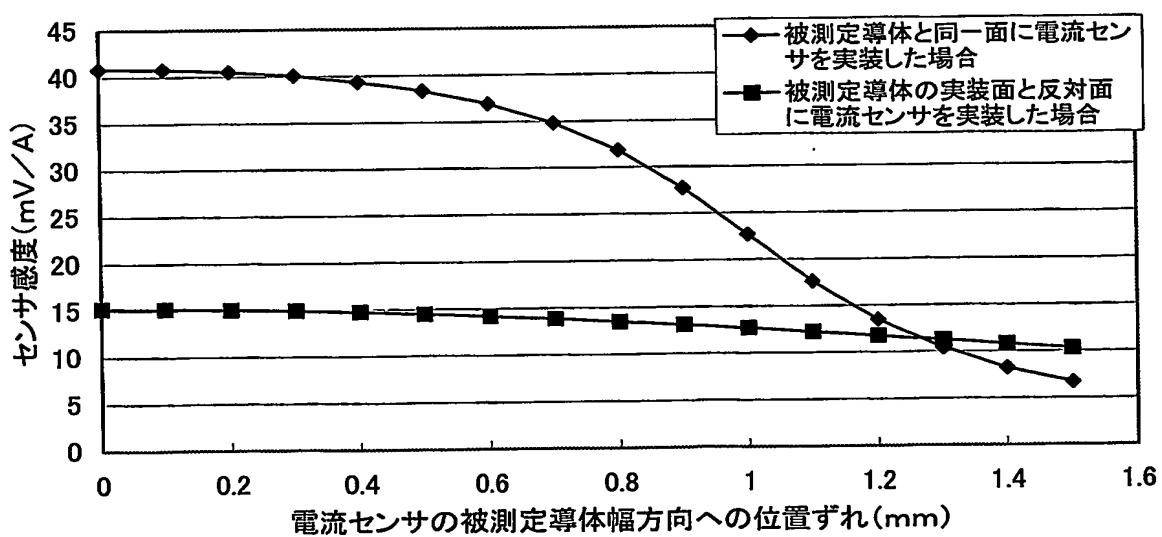


図 9

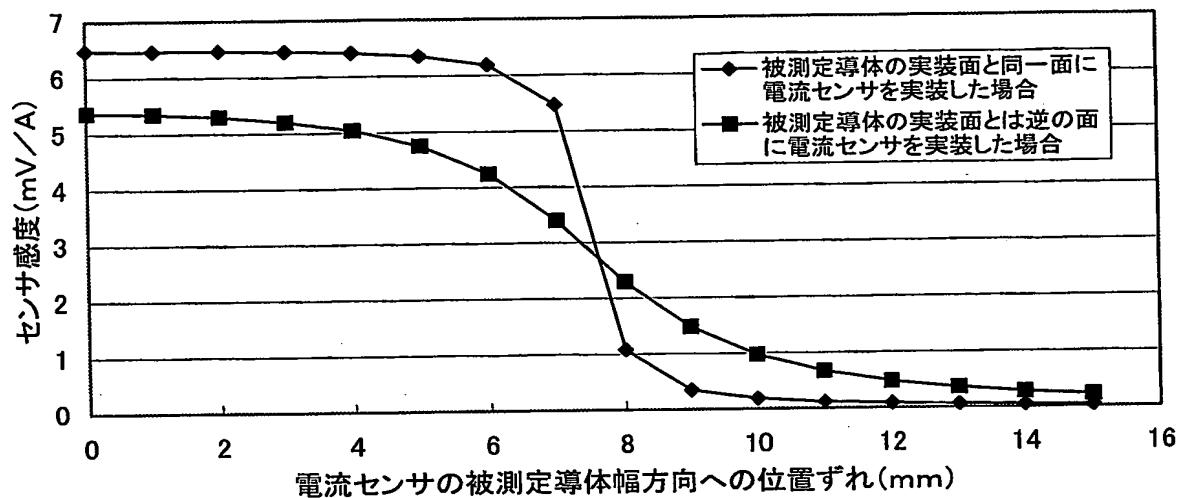


図 10

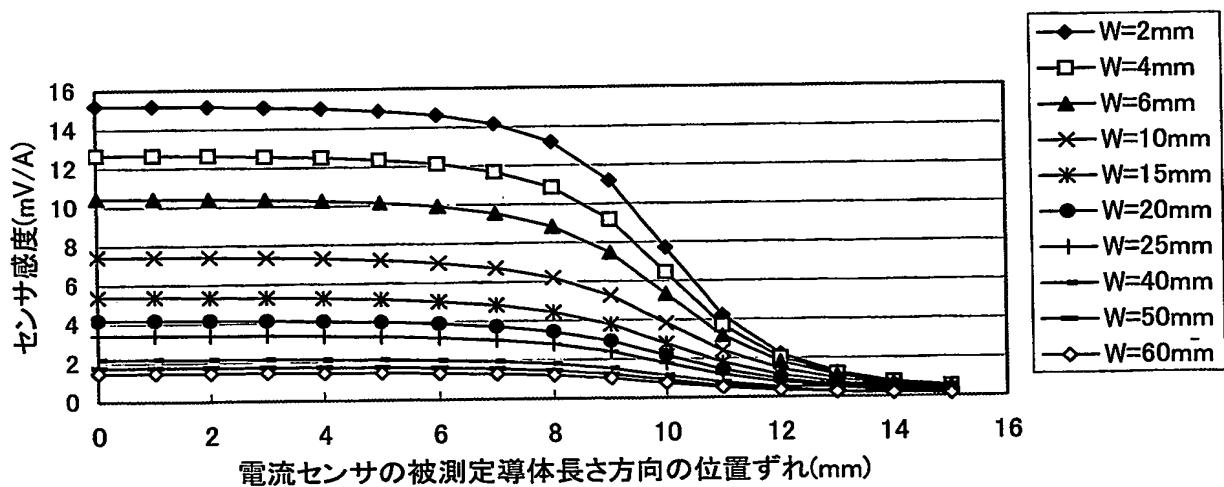


図 1 1

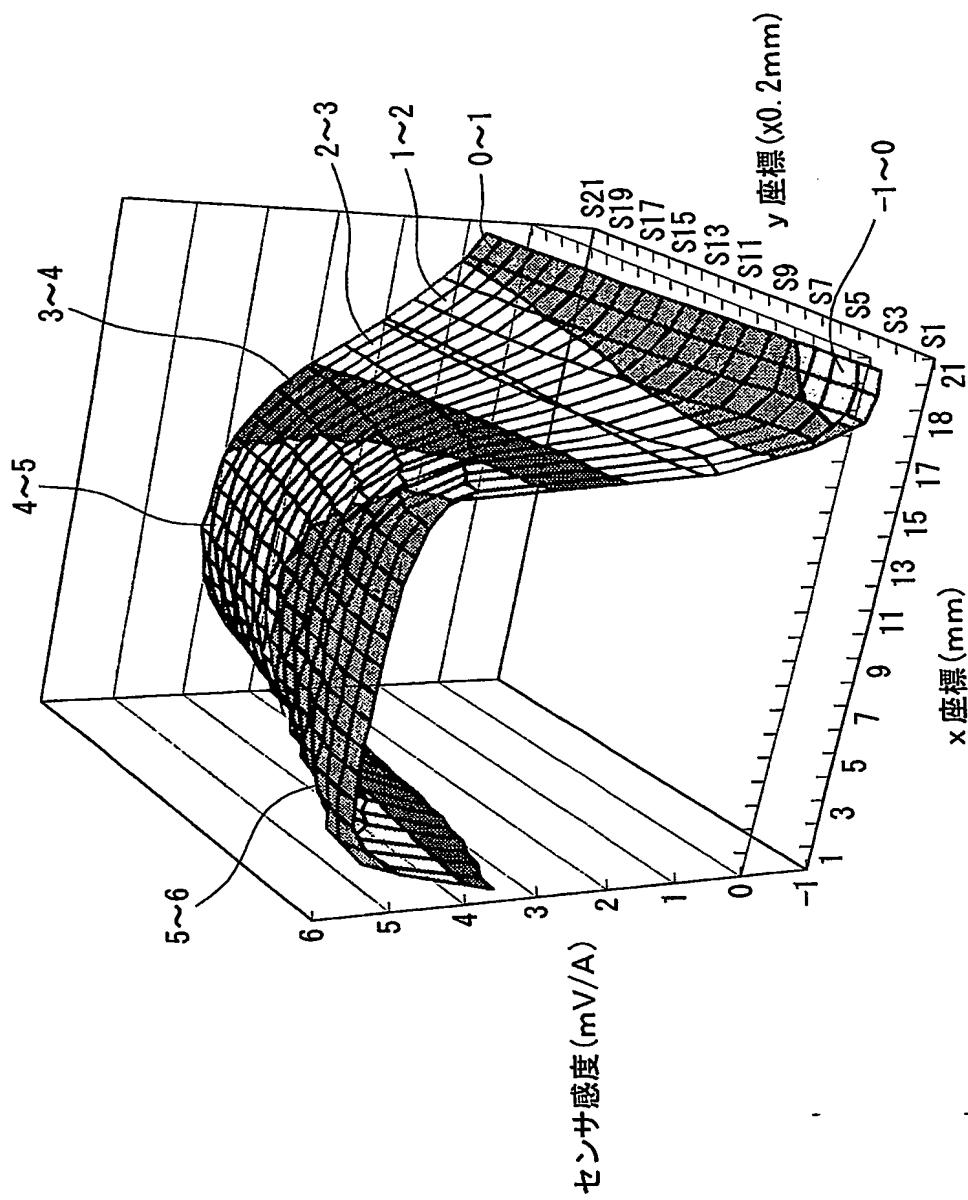


図 1 2

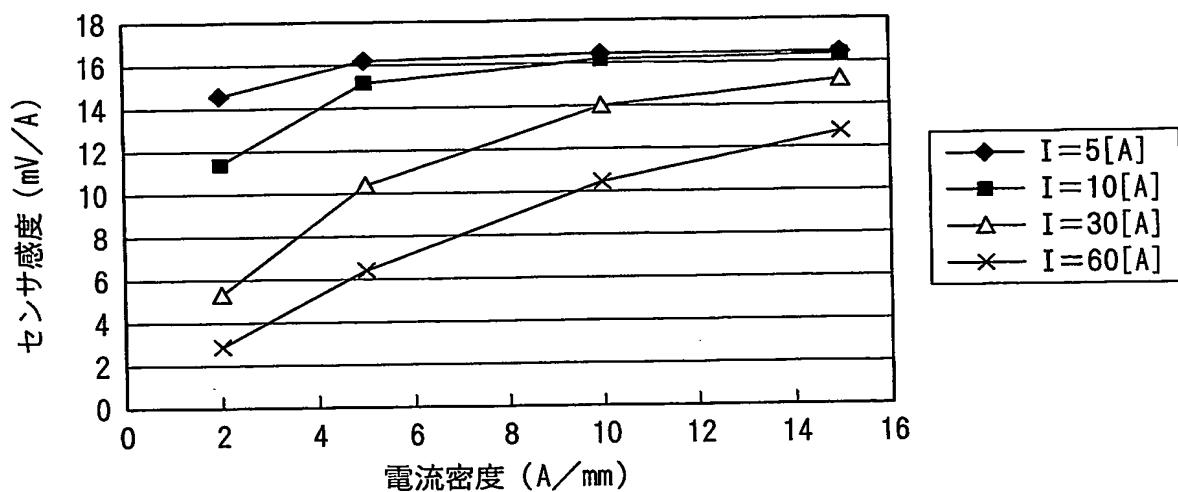


図 1 3

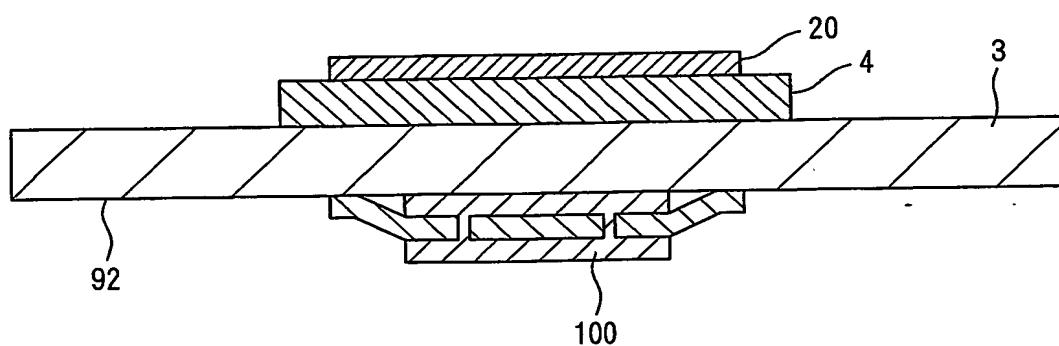


図14

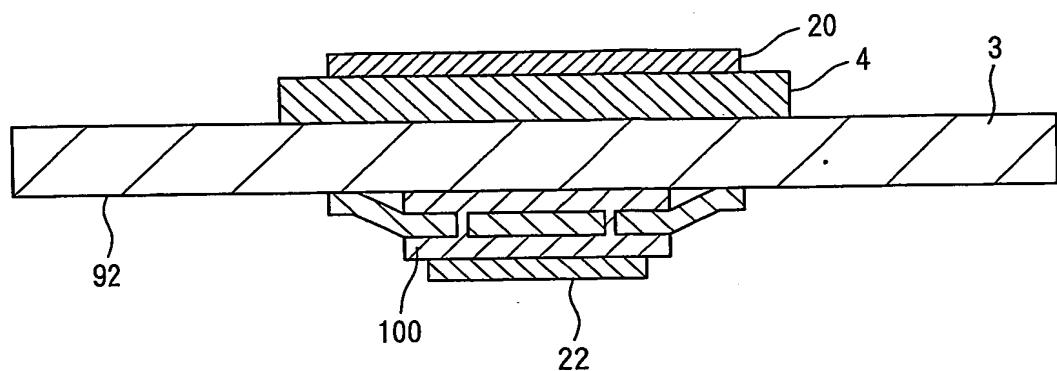


図15

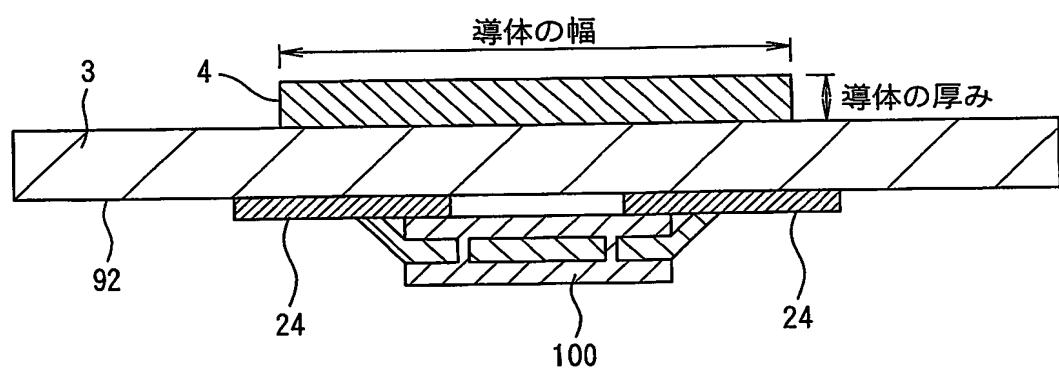


図 1 6

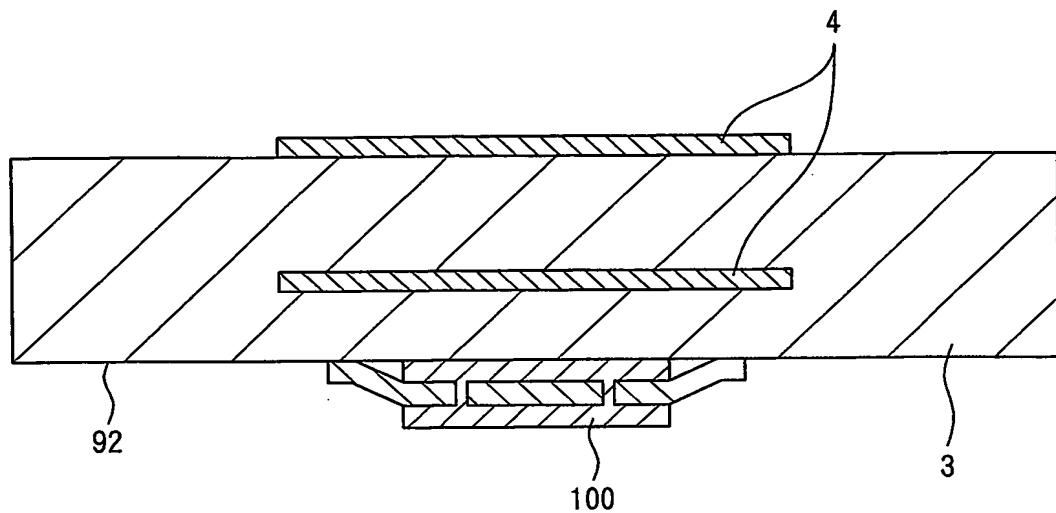
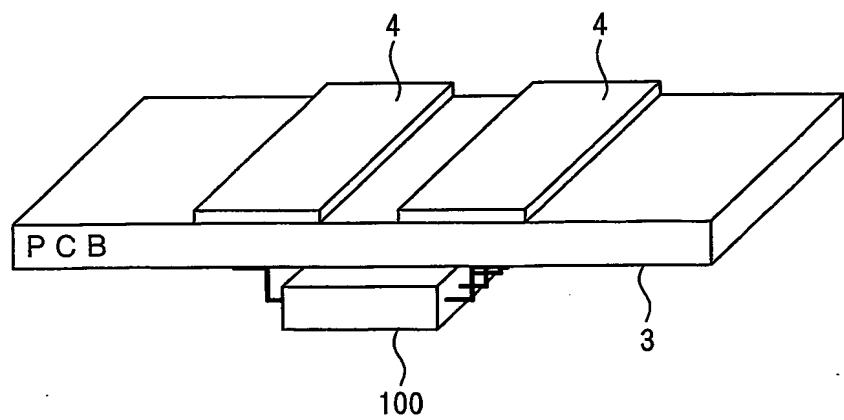


図 1 7



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/07579

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> G01R15/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G01R15/14-26Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 1031844 A2 (LIAISONS ELECTRONIQUES-MECANIQUES LEM S.A.), 30 August, 2000 (30.08.00), Par. Nos. [0009] to [0016]; Figs. 1 to 3 & JP 2000-249725 A	1-20
Y	US 5942895 A (Sentron AG.), 24 August, 1999 (24.08.99), Full text; all drawings (Family: none)	1-17, 19, 20
Y	JP 8-35993 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 06 February, 1996 (06.02.96), Par. Nos. [0011] to [0018]; Fig. 1 (Family: none)	1-20

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier document but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
17 July, 2003 (17.07.03)Date of mailing of the international search report  
05 August, 2003 (05.08.03)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/07579

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2002/0011841 A1 (Sanken Electric Co., Ltd.), 31 January, 2002 (31.01.02), Par. Nos. [0017] to [0018]; Figs. 1 to 2 & JP 2002-26419 A	4, 6-9, 13, 18-20
Y	JP 8-178965 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 12 July, 1996 (12.07.96), Full text; Figs. 1 to 2 (Family: none)	9, 19-20
Y	JP 61-80074 A (Toshiba Corp.), 23 April, 1986 (23.04.86), Page 2, upper right column, line 20 to lower left column, line 5 (Family: none)	20

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. C17 G01R15/20

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. C17 G01R15/14-26

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2003年
日本国登録実用新案公報	1994-2003年
日本国実用新案登録公報	1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	EP 1031844 A2 (LIAISONS ELECTRONIQUES-MECANIQUES LEM S.A.) 2000.08.30, [0009]-[0016], FIG. 1-3 & JP 2000-249725 A	1-20
Y	US 5942895 A (Sentron AG) 1999.08.24, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-17, 19, 20
Y	JP 8-35993 A (松下電器産業株式会社) 1996.02.06, 【0011】-【0018】、図1 (ファミリーなし)	1-20

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
- 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

- 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
- 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
- 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
- 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

17.07.03

国際調査報告の発送日

05.08.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

中村 直行

2 S 3005

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

C (続き) . 関連すると認められる文献		関連する 請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
Y	US 2002/0011841 A1 (Sanken Electric Co., Ltd.) 2002. 01. 31, [0017]-[0018], FIG. 1-2 & JP 2002-26419 A	4, 6-9, 13, 18-20
Y	JP 8-178965 A (松下電器産業株式会社) 1996. 07. 12, 全文, 図1-2 (ファミリーなし)	9, 19-20
Y	JP 61-80074 A (株式会社東芝) 1986. 04. 23, 第2頁, 右上欄第20行-左下欄第5行 (ファミリーなし)	20